FRAGMENTA FLORISTICA
ET GEOBOTANICA
Ann. XXI. Pars 1. 1975

GEOBOTANIKA

MICIOS KARKANIS

Rozkład ściółki pochodzącej z różnych gatunków drzew liściastych i jej wpływ na środowisko glebowe — Decomposition of Litter of Various Species of Deciduous Trees and its Effect on Soil Environment

Wpłynęło 8. II. 1974

Abstract. The investigations were carried out on the decomposition of litter of broadleaved trees occurring in Ispina and the beech litter in the fertile and poor beech stands in the Ojców National Park. The rate of transfer of certain elements from litter to soil and enrichment of soil with components assimilable to plants were also investigated. Moreover, the qualitative and quantitative occurrence of microflora in litter and its effect on soil were studied.

1. Wstęp

Ściółka leśna jest jednym z podstawowych składników siedliska leśnego i odgrywa decydującą rolę w procesie zwracania glebie składników pokarmowych pobranych przez roślinność. Śledzenie jej rozkładu jest rzeczą dość skomplikowaną, gdyż w grę wchodzi szereg czynników chemicznych, mikrobiologicznych, biologicznych i innych.

W latach 1939—1943 Wittich opublikował wyniki badań nad rozkładem ściółki buka, szpilek sosny, modrzewia, świerka i daglezji. Badania te trwały od 1936 do 1940 roku. Stwierdził on, że ściółka różnego rodzaju najszybciej rozkłada się na glebie, gdzie występuje próchnica typu mul. Liście drzew rozkładały się w następującej kolejności: jesion, akacja, czeremcha, kasztan jadalny, grab, dąb, brzoza i buk. Szpilki drzew iglastych po wciągnięciu do gleby przez faunę glebową, żyjącą w ściółce, ulegały szybszemu rozkładowi niż szpilki leżące na powierzchni gleby.

Po drugiej wojnie światowej wielu badaczy na całym świecie przeprowadzało wielostronne doświadczenia nad rozkładem ściółki. I tak Witkame i Drift (1961) prowadząc badania, potwierdzili wcześniejsze wnioski Wittichа, że stosunek C/N

jest zwykle korzystniejszy dla rozkładu ściółki w glebach zawierających próchnicę typu mul. Późniejsze badania Drifta (1963) dowiodły, że za rozkład ściółki odpowiedzialna jest głównie mikrofauna. Poza tym stwierdził on korelację między stanem pogody a aktywnością mikrofauny, oraz że wilgotność gleby wydaje się być ważniejszym czynnikiem niż temperatura. W innej pracy Drift (1964) stwierdza, że rozkład tej ściółki, która tworzy próchnicę typu mor, nie przebiega jednakowo we wszystkich latach. Natomiast rozkład ściółki, z której powstaje próchnica typu mul, nie wykazuje większego zróżnicowania w czasie.

Fakt, że fauna glebowa w dużym stopniu decyduje o szybkości rozkładu ściółki, potwierdzają badania Bococka (1964) i Thomasa (1968). Bocock (l. c.) badał między innymi zmiany azotu w związku z działalnością 26 gatunków większych bezkręgowców w ściółce i stwierdził, że gleba z dużą zawartością próchnicy zawierała dużo więcej bezkręgowców (dżdżownice i inne) niż gleba o mniejszej zawartości próchnicy, a specjalnie gdy była w stanie nie rozłożonym. Thomas (l. c.) stwierdził, że próbki ściółki szpilkowej z dodatkiem liści dereni zawierały 11211 sztuk, a bez dereni tylko 6458 sztuk zwierząt glebowych, a jej rozkład przeprowadzany był głównie przez: *Collembola*, *Acarina*, *Diptera* i *Hymenoptera*.

Dużą rolę w przeprowadzaniu rozkładu ściółki obok zwierząt glebowych Hering (1969) przypisuje grzybom. Na podstawie badań laboratoryjnych stwierdził, że grzyby *Mycena galopus* i *Collybia peronata*, rozwijające się na świeżej ściółce, w ciągu 6 miesięcy rozkładały od 1 do 17% suchej masy. Gurmaza (1966) stwierdza, że rozkład i mineralizacja ściółki leśnej na glebach wilgotnych odbywa się głównie przy udziale grzybów. Poza tym na uwagę zasługują studia Steubinga (1970) nad ilością i aktywnością mikroorganizmów w glebach leśnych.

Na dynamikę procesów związanych z rozkładem ściółki przez mikro- i mezofaunę duży wpływ wywiera dodatek niektórych mineralnych składników pokarmowych do ściółki. Doświadczenia przeprowadzone przez Viro (1963) wykazały, że dodatek wapnia spowodował wzrost liczebności bakterii i promieniowców, z równoczesnym spadkiem liczebności pleśni, a także liczby beztlenowych bakterii z rodzaju *Clostridium*, wiążących azot atmosferyczny. Poza tym zanotowano wzrost ilości NO_2 i NO_3. Dodawanie fosforu natomiast spowodowało znaczny wzrost grzybów (Mikrofungi).

Innym czynnikiem wpływającym na szybkość rozkładu ściółki jest jej gatunek oraz skład chemiczny. Jaro (1963) podaje, że liście dębu najwolniej rozkładają się pod dębem (ubytek masy 8,8%), a najszybciej pod robinią (ubytek masy 44,1%). Oprócz tego stwierdził wzrost zawartości azotu w procesie rozkładu ściółki wtedy, gdy liście rozkładały się od 35 do 45%. Natomiast udział fosforu i potasu w ściółce był niezależny od ich zawartości w liściach. Šataev i in. (1968) stwierdzili, że produkcja ściółki badanej dąbrowy wynosiła od 5,3 do 6,6 ton/ha. Badając skład chemiczny ściółki wykazali, że 1/2 całego popiołu przypada na wapń, a 1/4 na krzem. Zawartość azotu ogólnego wynosiła od 1,5 do 2%. Šataev i in. (l. c.) podkreślają szczególną rolę runa w procesie zwracania glebie pobranych składników. Mimo, że masa runa stanowi 10—12% w stosunku do masy liści drzew, zawiera ono dwukrotnie więcej składników pokarmowych np. K_2O i P_2O_5 niż ściółka.

Oprócz badań wyżej wymienionych autorów, na szczególną uwagę zasługują doświadczenia nad wpływem długotrwałego działania promieni gamma na produkcję i rozkład ściółki, przeprowadzone przez Woodwolla i Marplesa (1968). Badania wykazały, że dawka promieniowania 600—700 rentgenów dziennie zwiększa tempo rozkładu ściółki. Poza tym: a) istnieje jednoroczne opóźnienie w skutkach napromieniowania, b) występuje regularny wzrost po pierwszym roku, gdy napromieniowanie spowoduje 50% zmniejszenie produkcji liści, c) stwierdzono zmienność we względnej czułości gatunków roślin w czasie.

Kolejną ważną sprawą, której poświęca się wiele uwagi, jest strata składników pokarmowych podczas rozkładu ściółki. Na podstawie doświadczeń przeprowadzonych ze ściółką roślin łąkowych (Karkanis 1967) stwierdzono, że straty składników występowały w następującej kolejności: Na, K, P, Mg, Ca, N, Mo. Attiwill (1968), badając ten problem w drzewostanie z *Eucaliptus obliqua* w Australii, stwierdził następującą kolejność: Na, K, Ca, Mg, P. Straty składników pokarmowych, jakie zachodzą w procesie rozkładu ściółki, a także ich wypłukiwanie z liści roślin można wytłumaczyć ruchliwością tych pierwiastków w obrębie żywej biomasy.

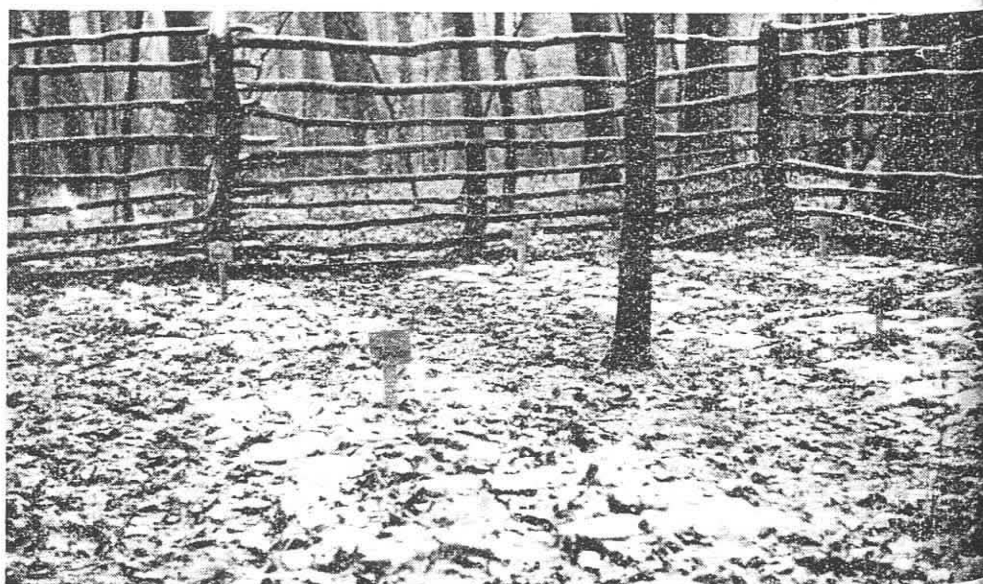
2. Cel pracy i metodyka badań

Jednym z ogniw kompleksowych badań, przeprowadzonych na powierzchni doświadczalnej w Ispinie w latach 1967—1970, było śledzenie procesu rozkładu ściółki pochodzącej z drzew liściastych, występujących na tym terenie. Równolegle prowadzono badania nad rozkładem ściółki bukowej w siedliskach buczyny żyznej i ubogiej w Ojcowskim Parku Narodowym i w rezerwacie Orkana. W tym ostatnim przypadku doświadczenie przeprowadzono w buczynie ubogiej na stoku, uwzględniając wysokość nad poziom morza. Doświadczenie przeprowadzono w następujący sposób:

1. Liście *Alnus glutinosa* — olchy, *Fraxinus excelsior* — jesionu, *Tilia cordata* — lipy, *Carpinus betulus* — graba, *Quercus robur* — dębu i *Fagus silvatica* — buka zebrano w czasie ich opadania, następnie suszono w temperaturze pokojowej.
2. Do okrągłych ramek metalowych o powierzchni 201 cm^2 i wysokości 3 cm włożono 20 g liści danego gatunku. Dno ramki stanowiła gaza nylonowa, a przykrywkę siatka nylonowa o średnicy oczka około 1 mm. Gazę i siatkę nylonową zszywano. Dla każdego gatunku założono 40 ramek (Fot. 1, 2).
3. W wyznaczonych punktach w Ojcowskim Parku Narodowym i w rezerwacie Orkana (po usunięciu warstw ściółki) w buczynie żyznej i ubogiej umieszczono ramki metalowe z liśćmi buka. W Ispinie, gdzie występuje las liściasty (grąd), przeprowadzono doświadczenia z liśćmi jesionu, olchy, lipy, graba, dębu oraz mieszanymi, po 4 g z każdego gatunku.
4. W odpowiednich terminach pobierano próbki z 4 ramek (seria) ze ściółką, którą starannie wyjmowano, notowano zmiany optyczne, liczono dżdżownice, wazonkowce, przepłukiwano wodą destylowaną; następnie suszono w temperaturze



Fot. 1. Doświadczenia nad rozkładem ściółki na powierzchni zespołowych badań w Ispinie. Widok z gór
Phot. 1. View from above. Experiments on litter decomposition



Fot. 2. Okrągłe ramki metalowe ułożone osobno dla każdego gatunku liści
Phot. 2. Circular metal frames, set separately for leaves of each tree species

pokojowej i ważono. Po obliczeniu średniej z 4 ramek i procentu ubytku, materiał mielono i poddawano analizie chemicznej.

5. Na powierzchni badawczej w Ispinie obok prowadzonych doświadczeń usunięto poziom akumulacyjny A_1. Podglebie rozkopano i dokładnie wyrównano. Do poszczególnych ramek drewnianych o powierzchni 1 m² włożono po 1 kg liści: olchy, jesionu, lipy, graba i dębu. Próbę porównawczą stanowiły trociny, które uprzednio wypłukano w zakwaszonej wodzie destylowanej i destylowanej czystej. Między glebą a ściółką umieszczono gazę nylonową, a ramy pokryto siatką nylonową. Tak przygotowane ramki ułożono w 0,5 m odstępach od siebie na wcześniej przygotowanej glebie.

6. W początkach sierpnia pobrano próbki glebowe pod ściółką i poddano je analizie chemicznej i mikrobiologicznej.

7. Analizy chemiczne przeprowadzono metodami, które zostały podane w pracy B. Rams (msk.). Miedź przyswajalną oznaczono natomiast metodą Henriksena i Jensena (Liwski i in. 1966), a molibden przyswajalny oznaczono metodą Grigga uproszczoną przez Gorlacha (1964).

8. Analizę mikrobiologiczną wykonano metodą płytkową rozcieńczeń Kocha z zastosowaniem podłoży wybiórczych dla podstawowych grup fizjologicznych mikroflory glebowej. Studia systematyczno-diagnostyczne oparto na współcześnie stosowanych metodach mikrobiologicznych, posługując się następującymi opracowaniami: Domsh, Gams (1970), Ainswooth, Sussman (1965, 1966, 1968) oraz Narris, Ribbons (1969—1972).

3. Proces rozkładu różnego rodzaju liści oraz zmiany zachodzące w ich masie

Na podstawie otrzymanych wyników omówiono proces rozkładu liści gatunków drzew wybranych do doświadczeń, w zależności od szybkości jego przebiegu.

Alnus glutinosa — olcha. W okresie jesiennym (od 31. X. do 6. XII. 1967 r.) liście przybrały kolor czarny, a pewna ich część została zaatakowana przez bezkręgowce, głównie dżdżownice (średnio 12 sztuk na jedną ramkę). Na powierzchni liści rozwijały się grzyby z klasy podstawczaków.

Analiza mikrobiologiczna wykazała, że w 1 g ściółki (tab. 1 [1]) znajdowało się 4,29 mln bakterii w formie czynnej i 3,39 mln w formie spoczynkowej. Liczba pozostałych grup badanych drobnoustrojów w ściółce olchy w stosunku do ściółki innych gatunków drzew kształtuje się różnie. Z grupy bakterii należy wymienić takie gatunki, jak: *Bacillus cereus* var. *mycoides*, *B. subtilis* i *Pseudomonas* sp.

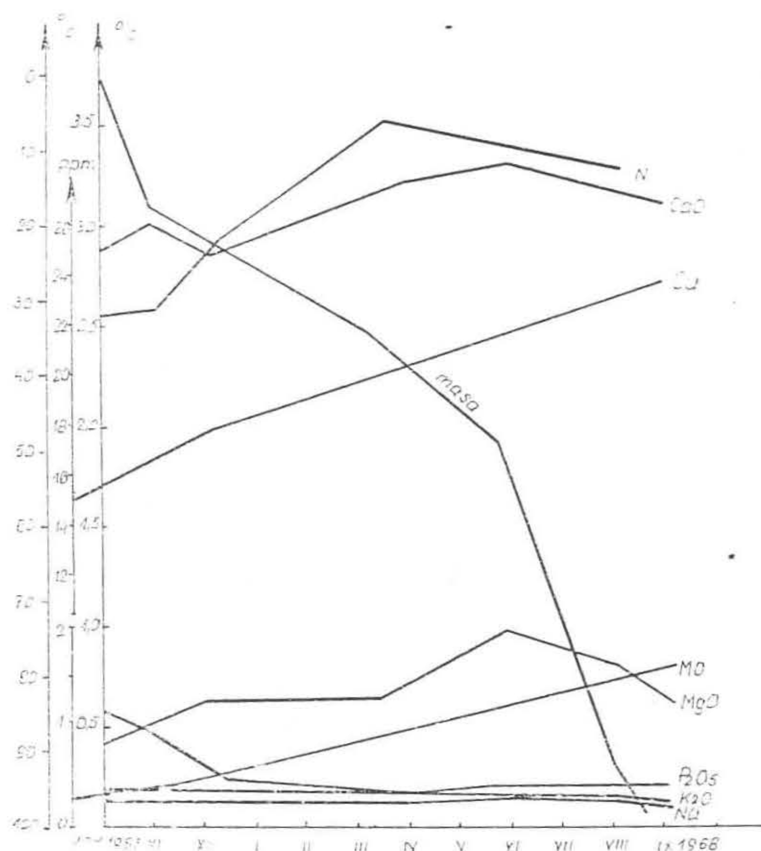
Na uwagę zasługuje fakt, że w ściółce olchy stwierdzono największą ilość grzybów (tab. 2). Oznaczenia systematyczne wyodrębnionych grzybów w ściółce olchy (tab. 3) wykazały, że najliczniej reprezentowane są *Fungi Imperfecti* — 9 gatunków, następnie *Phycomycetes* — 6 gatunków oraz *Ascomycetes* — 4 gatunki. Natomiast liczba gatunków zdolnych do rozkładu błonnika, pektyn i lignin przedstawia się następująco: *Ascomycetes* — wszystkie 4 gatunki, *Fungi Imperfecti* tylko 4, a najmniej z klasy *Phycomycetes* — 2 gatunki. Należy podkreślić, że ilość gatunków

[1] Tabele 1—5 znajdują się na końcu zeszytu pod opaską.

grzybów występujących w ściółce olchy nie odbiega zbytnio od liczby gatunkó wyodrębnionych w pozostałych, zbadanych rodzajach ściółki z wyjątkiem ściół jesionu — z Ispiny oraz buka z Gorców.

Rozkład ściółki olchowej można podzielić na dwa okresy: na okres jesien i wiosenno-letni. W okresie jesiennym ilość rozłożonej masy wynosiła około 22,2 (ryc. 1), następnie proces ten uległ zahamowaniu w okresie zimowym, po czy w czasie wiosny przebiegał łagodnie do końca maja. Od marca do maja rozłoży się około 30% masy. Natomiast od początku czerwca do końca sierpnia zosta rozłożona prawie cała pozostała ilość biomasy liści olchy. Tak więc w ciągu całeg okresu badań rozkładowi uległo około 97,5% liści olchy.

Śledząc zmiany zawartości niektórych składników pokarmowych w rozkłada jącej się masie obserwowano pewne prawidłowości ich przebiegu (ryc. 1). I tak w miarę ubytku masy liści, procentowa zawartość azotu ogólnego w stosunk do ilości wyjściowej wzrosła o 0,74%, tzn. od 2,63 do 3,37%. Podobnie ilość miedz



Ryc. 1. Rozkład liści *Alnus glutinosa* oraz zmiany w zawartości niektórych składników pokarmowy

Fig. 1. The decomposition of *Alnus glutinosa* leaves, and changes in the content of certain nutritio components

badanym okresie wzrosła z 15,48 do 23,86 ppm, a molibdenu z 0,33 do 1,60 ppm. Wzrost zawartości magnezu również był istotny i wynosił od 0,44 w początkowym okresie do 0,81% w końcowej fazie rozkładu. Różnice w procentowej zawartości wapnia były niewielkie (od 2,92 do 3,34%) i na tej podstawie nie można wnioskować o wzroście jego ilości w badanym okresie. Ilość potasu uległa zmniejszeniu od października do marca z 0,59 do 0,18%, a następnie utrzymywała się na tym samym poziomie do końcowej fazy rozkładu. Natomiast procentowa zawartość fosforu i sodu przez cały okres nie ulegała większym zmianom i wynosiła dla fosforu około 0,20%, a dla sodu 0,16%.

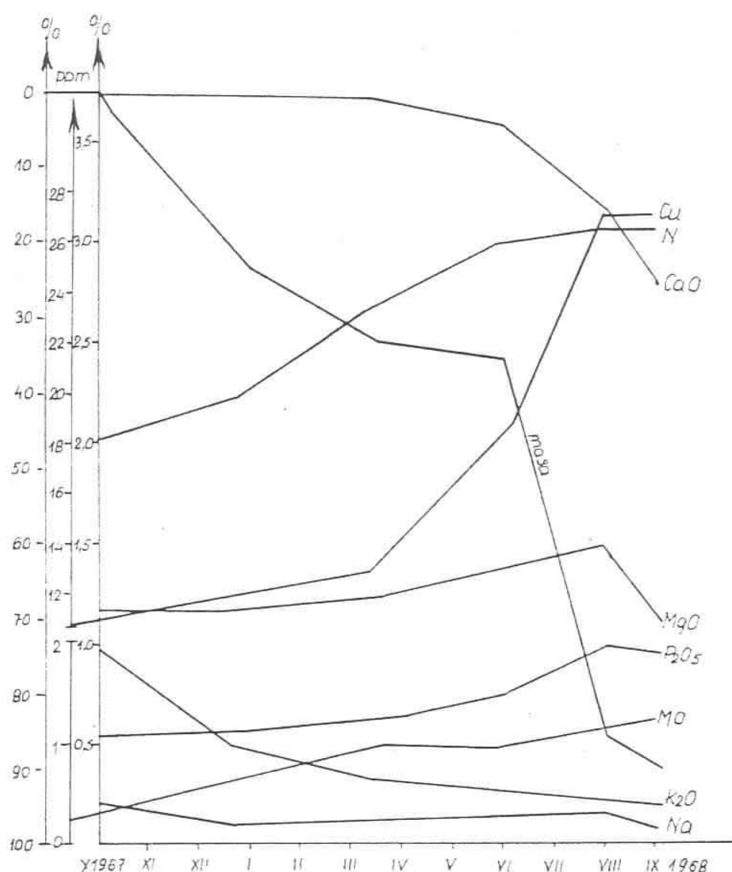
Fraxinus excelsior — jesion. Rozkład liści jesionu przebiegał mniej więcej podobnie jak rozkład liści olchy. Blaszka liściowa w miarę upływu czasu czernieje i wygląda jakby zachodził proces gnicia. W okresie jesiennym nie stwierdzono ubytku blaszki liściowej. Późną wiosną natomiast i w lecie znaleziono liczne dżdżownice, które w dużym stopniu przeprowadziły rozkład badanej biomasy liści.

Na podstawie badań mikrobiologicznych (tab. 1) stwierdzono, że ilość drobnoustrojów w 1 g ściółki jest bardzo wysoka, podobnie jak u olchy. Ilość form czynnych bakterii wynosi 4,03 mln, form spoczynkowych — 3,03 mln. Liczba pozostałych grup badanych drobnoustrojów, głównie promieniowców i grzybów, jest znacznie mniejsza niż u olchy (tab. 2). Skład gatunkowy bakterii jest zbliżony do składu gatunkowego bakterii, występującego w ściółce olchy.

Ze ściółki jesionowej wyodrębniono 11 gatunków grzybów (tab. 3). Liczba ta jest najmniejsza w stosunku do innych przebadanych gatunków ściółki. Klasy *Phycomycetes* i *Ascomycetes* reprezentowane są przez 2 gatunki każda, a najwięcej (7 gatunków) stwierdzono z grupy *Fungi Imperfecti*. Wszystkie 4 gatunki z klas *Phycomycetes* i *Ascomycetes* mają zdolność rozkładu błonnika, pektyny i ligniny, a z 7 gatunków z grupy *Fungi Imperfecti* tylko 4.

Masa liści jesionu rozkładała się również w dwóch okresach: jesiennym i wiosenno-letnim. W pierwszym okresie rozłożyło się 22,4% (ryc. 2). Podczas łagodnej zimy 1968 r. tak samo jak u olchy rozłożyło się około 11% masy. Natomiast od połowy marca do końca maja proces ten został zahamowany (rozłożyło się tylko 5%), a przez lipiec i do połowy sierpnia rozkładowi uległo 50% masy. Na podstawie ścisłych obserwacji stwierdzono, że do końca sierpnia proces rozkładu liści jesionu był zakończony, tzn. 90% masy uległo rozkładowi. W skład nie rozłożonej masy wchodzą tylko ogonki i nerwy liści, które do czasu opadania nowych liści ulegają prawie całkowitemu rozkładowi.

Analiza chemiczna wykazała, że zawartość azotu w rozkładającej się masie liści stopniowo wzrastała (ryc. 2) w stosunku do zawartości wyjściowej, tzn. z 2,01 do 3,14%. Ilość fosforu nieznacznie wzrosła z 0,55 do około 1% w końcowym okresie rozkładu. Podobnie procentowa zawartość magnezu wzrosła z 1,15% w materiale wyjściowym do około 1,54% w końcowej fazie. Natomiast nerwy i ogonki zawierały tyle magnezu co materiał wyjściowy, tzn. 1,15%. Zawartość wapnia do końca maja nie uległa większym zmianom i wynosiła około 3,7%, w końcowej fazie natomiast spadła do 2,78%. Ilość potasu w okresie jesiennym obniżyła się z 1% do 0,5%, w okresie wiosennym spadła do 0,25% i dalej nie



Ryc. 2. Rozkład liści *Fraxinus excelsior* oraz zmiany w zawartości niektórych składników pokarmowych

Fig. 2. The decomposition of *Fraxinus excelsior* leaves, and changes in the content of certain nutritional components

wykazywała większych wahań. Sód zachowywał się tak, jak u olchy, nie wykazując istotnych zmian i jego zawartość wynosiła około 0,15%. Natomiast ilość miedzi w badanym materiale od wiosny do końca lipca uległa gwałtownemu wzrostowi z około 11 ppm do 27,2 ppm. Podobne zjawisko obserwuje się w zachowaniu molibdenu. Ilość jego w materiale wyjściowym wynosiła 0,28 ppm, a w końcowej fazie wzrastała do 1,25 ppm.

Tak więc ściółkę olchy i jesionu można zaliczyć do tej samej grupy, gdyż roz- kłada się ona w ciągu jednego roku.

Carpinus betulus — grab. Proces rozkładu liści graba przebiega dwukrotnie wolniej niż liści poprzednio omawianych gatunków. I tak w okresie jesiennym, tzn. od końca października do 20 grudnia, rozkładowi uległo 21,9% (ryc. W okresie zimowym 1968 r. nie zanotowano istotnych zmian. W okresie ty rozłożyło się około 3% masy liści. Od 19 marca do 2 lipca 1968 r. natomiast pro rozkładu został przyspieszony — w tym czasie rozłożyło się 24,5%, a od lip

18 grudnia tego roku rozkładowi uległo aż 30%, co w sumie daje 79,5% masy. W okresie zimowym 1969 r. nie zanotowano żadnej zmiany, od wiosny zaś do lipca tego roku dalszemu rozkładowi uległo 8,5%, a od lipca do listopada 1969 r. rozłożone zostało dalsze 6% biomasy liści. Jak z tego wynika, w ciągu dwóch lat rozłożyło się 94% badanych liści. Pozostała część liści to szczątki ogonków i siatki nerwowej blaszki liściowej, wymieszane z wytworzoną próchnicą.

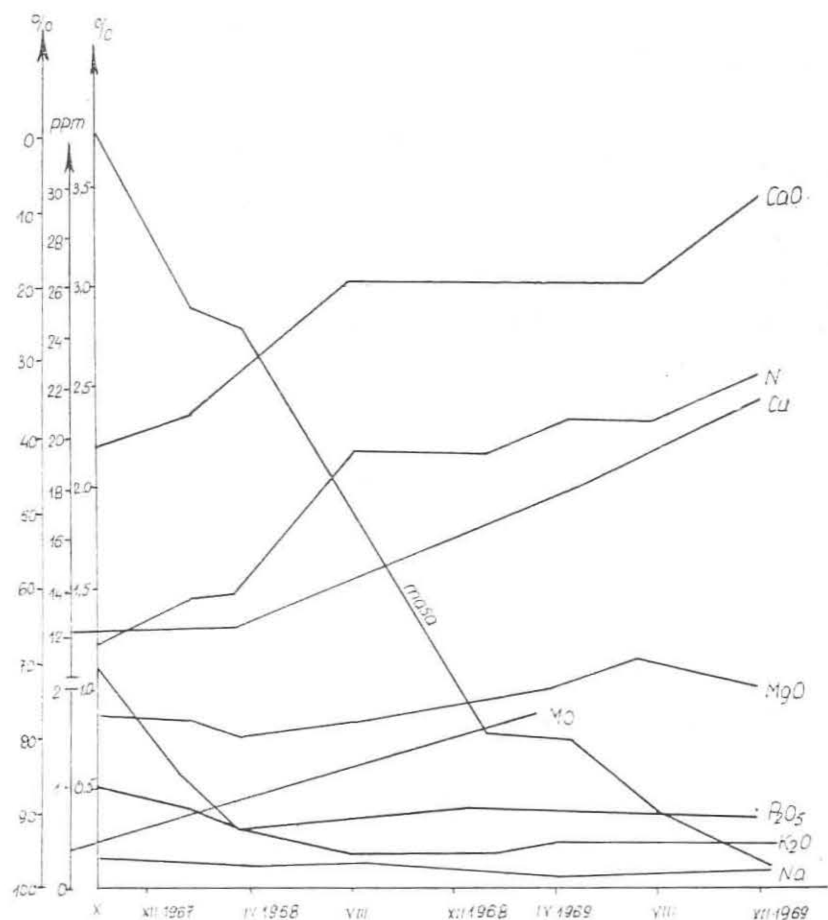
W badanych liściach w odróżnieniu od ściółki olchy i jesionu stwierdzono niewiele dżdżownic, a dużą ilość wijów i innych bezkręgowców. Na szczególną uwagę zasługuje bardzo mała ilość bakterii formy czynnej — 30 tys., i spoczynkowej — 49 tys. Liczby te (tab. 1) wskazują, że ilość bakterii, stwierdzona w 1 gramie liści graba, jest stokrotnie i więcej mniejsza niż w ściółce olchy i jesionu. Również ilość grzybów (4,2 tys.) jest dwukrotnie mniejsza w stosunku do jesionu i około [illegible]-krotnie w stosunku do olchy. Ze stwierdzonych gatunków bakterii należy wymienić: *Bacillus cereus* var. *mycoides*, *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Bacterium* sp.

Oznaczenia systematyczne grzybów wykazały (tab. 3), że klasę *Phycomycetes* reprezentuje tu 6 gatunków, *Ascomycetes* tylko 3 gatunki, *Fungi Imperfecti* zaś 8 gatunków. W zakresie zdolności do rozkładu błonnika, pektyny i ligniny natomiast rzecz przedstawia się odwrotnie, a mianowicie: z klasy *Ascomycetes* wszystkie trzy wyodrębnione gatunki posiadają zdolność rozkładu, tylko dwa z 6 gatunków z klasy *Phycomycetes* oraz 5 z 8 gatunków z grupy *Fungi Imperfecti*. Ogólnie można stwierdzić, że liczba gatunków grzybów badanej ściółki jest podobna (17) jak w większości pozostałych gatunków ściółki.

Obserwując przebieg krzywych zawartości badanych pierwiastków (ryc. 3) można stwierdzić stopniowy wzrost procentowej ilości następujących składników: wapnia, azotu, miedzi i molibdenu. I tak ilość wapnia od jesieni 1967 do grudnia 1968 r. wzrosła z 2,22 do 3,06% CaO, a w roku 1969 z 3,06 do 3,47%. Zawartość azotu ogólnego w pierwszym roku (1968) wzrosła z 2,16 do 2,52%. Miedź z 12,0 do 16,4 ppm w 1968 r. i do 21,32 ppm w 1969 r. Molibden oznaczono tylko w próbkach 1968 r. Jego zawartość w badanym okresie wzrosła z 0,16 do 1,60 ppm. Zmianom zawartości magnezu nie można przypisywać jakiegoś znaczenia, gdyż różnice w poszczególnych okresach nie przekraczały 0,15%. Na to samo wskazuje przebieg krzywych fosforu i sodu, gdzie wielkość zmian jest rzędu 0,08%. Natomiast procentowa zawartość potasu w okresie jesiennym 1967 r. uległa gwałtownemu spadkowi z 1,12 do 0,51% pod koniec grudnia tegoż roku i do 0,28% na wiosnę, w następnych zaś okresach jego ilość nie ulegała większym wahaniom i wynosiła około 0,22%.

Tilia cordata — lipa. Proces rozkładu liści lipy przebiegał analogicznie jak graba, z tą tylko różnicą, że do końca 1968 r. (ryc. 4) rozłożyło się około 73,5% masy. W następnym roku rozkładowi uległo 16,5%, co razem stanowi 90,0% rozłożonej masy. Pozostała część (10%, tj. ogonki i nerwy blaszki liściowej) rozkłada się w następnym roku razem ze świeżo opadłymi liśćmi.

Badane liście w dużym stopniu zostały rozłożone przez dżdżownice. Ich liczba w jednym kółku wynosiła 9—10 sztuk. Blaszka liściowa była tak wyniszczona, że



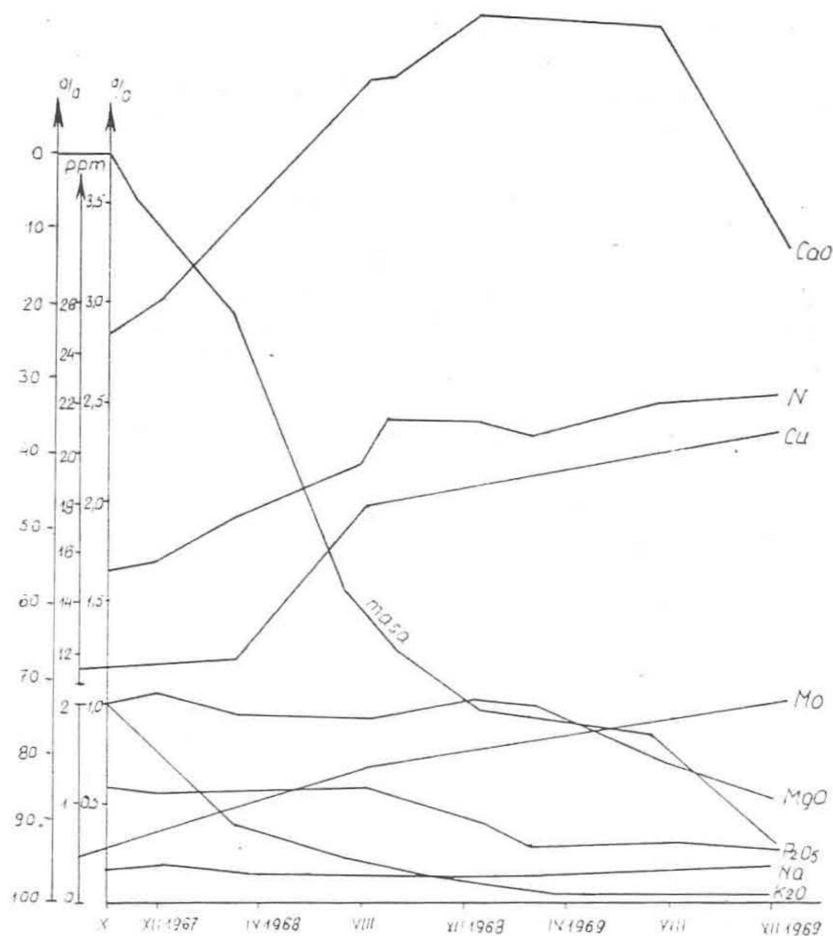
Ryc. 3. Rozkład liści *Carpinus betulus* oraz zmiany w zawartości niektórych składników pokarmow

Fig. 3. The decomposition of *Carpinus betulus* leaves, and changes in the content of certain nutriti components

w końcowej fazie rozkładu widać było tylko minimalnie uszkodzoną, całą siat nerwową, która rozkładała się w drugim roku.

Analiza mikrobiologiczna ściółki lipy wykazała, że liczba bakterii w for czynnej wynosi 2,5 mln oraz 2,2 mln w formie spoczynkowej. Ilość ta jest pra o połowę mniejsza niż u olchy i jesionu, ale o wiele większa od ilości stwierdzo w ściółce graba. Tylko ilość promieniowców (tab. 2) jest 2-krotnie mniejsza u graba. Z ważniejszych gatunków bakteryjnych należy wymienić: *Pseudomon fluorescens*, *Bacterium* sp., *Bacillus cereus* var. *mycoides*, *Staphylococcus* sp.

Na podstawie oznaczeń systematycznych (tab. 3) grzybów wyodrębniony ze ściółki lipy stwierdzono, że klasa *Phycomycetes* i *Fungi Imperfecti* reprezent wane są przez 9 gatunków każda, a klasa *Ascomycetes* przez 5 gatunków. Zdolno do rozkładu błonnika, pektyny i ligniny posiadają natomiast tylko 4 gatu z klasy *Phycomycetes* i *Fungi Imperfecti* oraz 3 z klasy *Ascomycetes*. Podsumowuj



Ryc. 4. Rozkład liści *Tilia cordata* oraz zmiany w zawartości niektórych składników pokarmowych
Fig. 4. The decomposition of *Tilia cordata* leaves, and changes in the content of certain nutritious components

można stwierdzić, że tak liczna grupa gatunków grzybów (23) występująca na tej ściółce świadczy o tym, że nie ma wyspecjalizowanych gatunków grzybów, prowadzących degradację blaszki liściowej lipy.

Analiza chemiczna badanych liści wykazała, że procentowa zawartość wapnia od jesieni 1967 r. do grudnia 1968 r. wzrosła z 2,78 do 4,45% i na tym poziomie utrzymywała się do lipca 1969 r., kiedy ilość rozłożonej biomasy wynosiła 77,6%. Pod koniec listopada 1969 r., gdy w zasadzie proces rozkładu dobiegał końca, ilość wapnia gwałtownie spadła do 3,47%. Drugim elementem, którego ilość tylko w pierwszym okresie (od jesieni 1967 r. do końca 1968 r.) wzrosła z 1,65 do 2,40%, był azot. W następnym roku ilość jego nie uległa większym zmianom i wynosiła około 2,5%. Podobnie zawartość miedzi wzrosła z 12,0 do 18,0 ppm w okresie wiosenno-letnim 1968 r., a następnie w 1969 r. do 21,2 ppm. Zawartość molibdenu

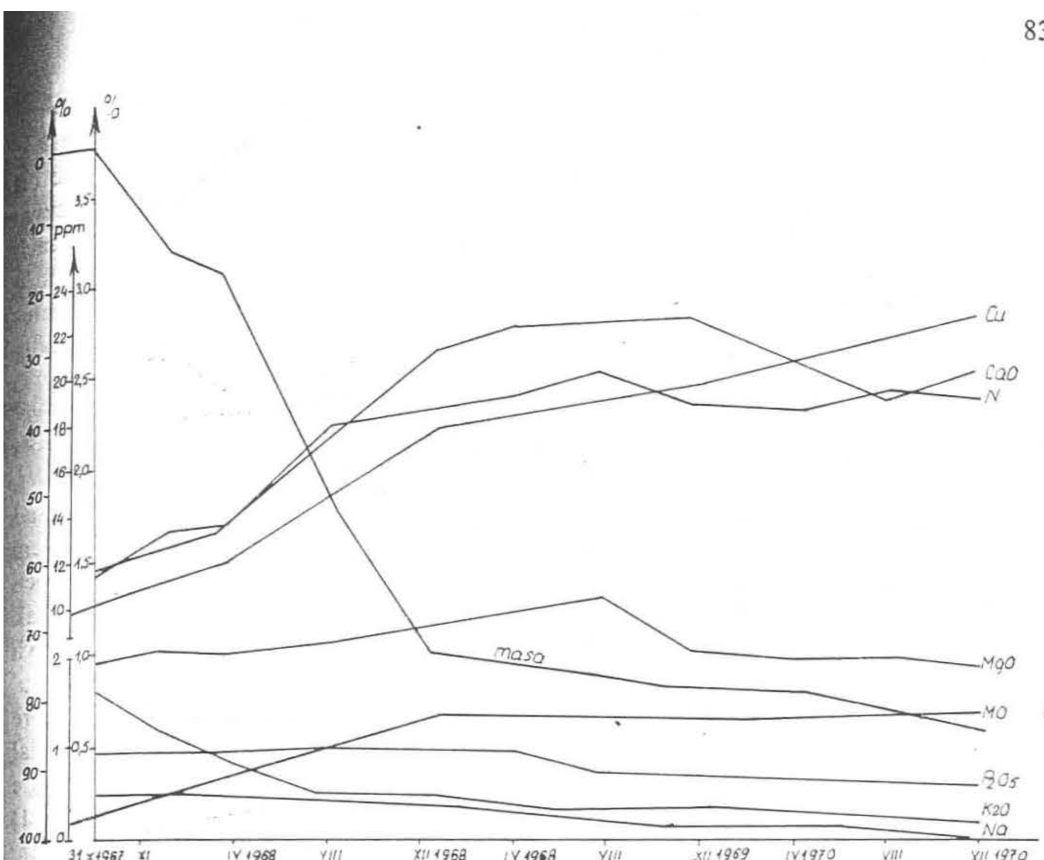
przez cały okres stopniowo wzrastała od 0,50 ppm w jesieni 1967 r., do 2,05 ppm pod koniec listopada 1969 r. Procentowa zawartość magnezu od jesieni 1967 r. do czerwca 1969 r. utrzymywała się w granicach od 0,90 do 1,0%, następnie od lata do końca listopada tego roku ilość jego spadła do 0,57%. Fosfor w pierwszym roku (1968) nie wykazywał większych zmian, a ilość jego wahała się w granicach od 0,60 do 0,51%. Natomiast od końca 1968 r. do końca 1969 r. ilość fosforu zmalała do 0,35%. To samo zjawisko obserwowano w zawartości sodu. W analogicznym okresie ilość jego wynosiła około 0,16%, pod koniec 1969 r. zaś spadła do 0,08%. Zawartość potasu w badanym materiale przez cały okres była prawie taka sama jak u graba. Oznacza to, że od jesieni 1967 r. do sierpnia 1968 r. zmalała z 1,03 do 0,12%, a potem ilość potasu nie ulegała większym zmianom i wynosiła średnio 0,16%.

Quercus robur — dąb. W odróżnieniu od omówionych wyżej gatunków rozkład liści dębu przebiegał całkiem odmiennie. W pierwszym okresie (ryc. 5), tj. od jesieni 1967 r. do końca 1968 r., nastąpił gwałtowny rozkład liści. W pozostałych dwóch latach — 1969 i 1970 — rozkład nie rozłożonej jeszcze biomasy odbywał się tak wolno, że w tym okresie ubyło tylko 10% w stosunku do całej biomasy, czyli w ciągu badanego okresu w sumie uległo rozkładowi 83% badanego materiału.

W badanym materiale stwierdzono obecność 5—8 sztuk dżdżownic, które w dużym stopniu rozkładały liście. Oprócz tego w procesie rozkładu niemały udział należy przypisać licznym korzeniom roślin runa leśnego, które przeplatały prawie cały materiał znajdujący się w kółkach. Poza tym analiza mikrobiologiczna (tab. 1) wykazała, że ilość bakterii formy czynnej wynosi 4,1, a spoczynkowej — 3,3 mln. Taką wysoką ilość bakterii stwierdzono tylko u olchy i jesionu. Ilość grzybów (tab. 2) była znacznie większa (z wyjątkiem olchy) niż w pozostałych gatunkach ściółki. Ze ściółki dębu wyodrębniono 17 gatunków grzybów (tab. 3): z klasy *Phycomycetes* — 5, *Ascomycetes* — 3, a z grupy *Fungi Imperfecti* — 9 gatunków. Zdolność do rozkładu błonnika, pektyny i ligniny wykazuje natomiast 7 gatunków z grupy *Fungi Imperfecti*, wszystkie 3 z klasy *Ascomycetes* i 2 gatunki z klasy *Phycomycetes*.

W tym miejscu należy podkreślić, że prawie wszystkie wyodrębnione gatunki grzybów z grupy *Fungi Imperfecti* i *Ascomycetes* biorą udział w procesie rozkładu błonnika, pektyny i ligniny, zawartych w tkankach liści dębu.

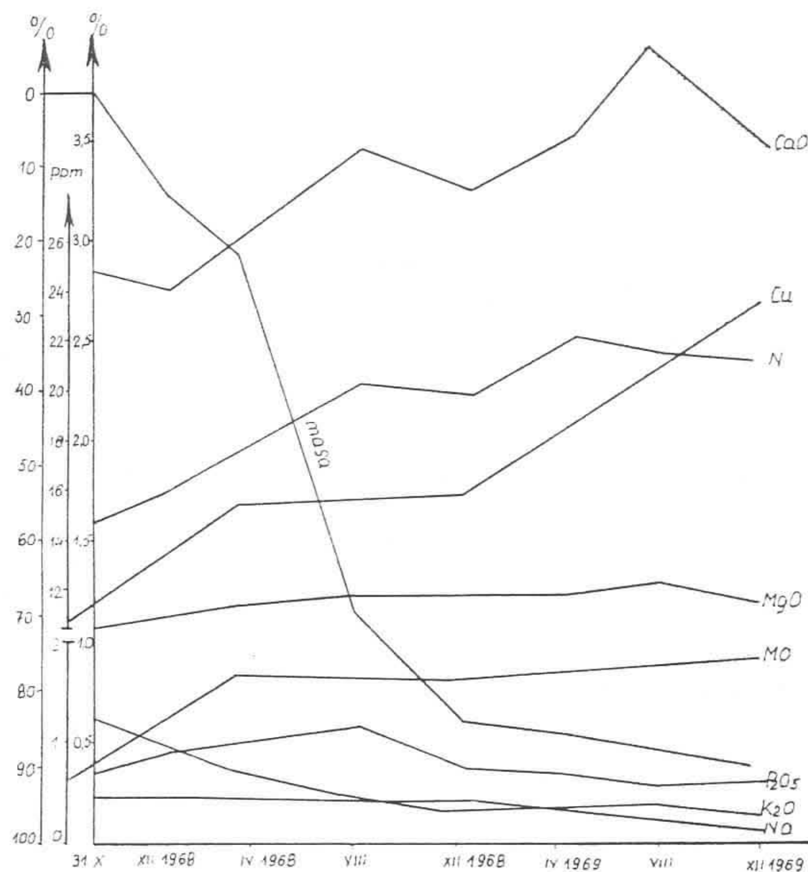
Po przeanalizowaniu zawartości oznaczonych składników pokarmowych w badanych liściach dębu w różnych okresach ich rozkładu można stwierdzić, że procentowa zawartość azotu (ryc. 5) od jesieni 1967 r. do grudnia 1968 r. stopniowo wzrastała z 1,45 do 2,25%. W następnym okresie ilość tego składnika wahała się w granicach od 2,37 do 2,52%. Podobny przebieg ma krzywa zmian procentowej zawartości wapnia. I tak od jesieni 1967 r. do końca 1968 r. ilość tego składnika wzrosła z 1,39 do 2,64%. W następnych latach ilość wapnia wahała się w granicach od 2,49 do 2,78%. Ilość miedzi, zawarta w materiale, przez cały okres wzrastała z 9,86 ppm w jesieni 1967 r. do 17,86 ppm w końcu 1968 r. i do 22,8 ppm pod koniec 1970 roku. Ilość zaś molibdenu wzrosła od jesieni 1967 r. do grudnia 1968 r. z 0,16 do 1,30 ppm, a potem utrzymywała się w granicach 1,25 ppm do końca



Ryc. 5. Rozkład liści *Quercus robur* oraz zmiany w zawartości niektórych składników pokarmowych
Fig. 5. The decomposition of *Quercus robur* leaves, and changes in the content of certain nutritious components

1970 r. Zawartość magnezu w zasadzie nie wykazywała ewidentnych zmian. Od jesieni 1967 r. do sierpnia 1969 r. ilość jego wzrosła z 0,95 do 1,30%, a następnie zmalała do około 1% i na tym poziomie utrzymywała się do końca 1970 r. Zmianom procentowej zawartości fosforu nie można przypisywać większego znaczenia, gdyż przez cały okres badań ilość jego wahała się w granicach od 0,48 do 0,31%. Przebieg krzywej potasu wykazuje, że od jesieni 1967 r. do sierpnia 1968 r. ilość potasu zmalała z 0,75 do 0,22%, a w następnym okresie wahała się w granicach od 0,12 do 0,16%. Ilość sodu od jesieni 1967 r. do grudnia 1968 r. utrzymywała się w granicach 0,20%, a potem stopniowo malała do 0,15 i 0,10% w 1969 r. aż osiągnęła 0,06% pod koniec 1970 r.

Liście mieszane. Kombinacja ta składała się z 4 gatunków liści, a mianowicie: jesionu, lipy, graba i dębu. Gatunki te występują razem w badanym lesie w Ispinie. Okazało się, że tempo rozkładu badanej masy od jesieni 1967 r. do końca 1968 r. (ryc. 6) jest szybsze o około 5%. Znaczy to, że średnia ubytku biomasy z 4 gatunków w omawianym okresie wynosi 79,5%, ilość natomiast masy rozłożonej w kombinacji liści mieszanych wynosi 84%. Dokładne obserwacje wykazały, że



Ryc. 6. Rozkład liści mieszanych oraz zmiany w zawartości niektórych składników pokarmowych
Fig. 6. The decomposition of mixed leaves, and changes in the content of certain nutritious components

w pierwszym okresie całkowitemu rozkładowi uległy liście jesionu, lipy i graba, oraz poważnie zostały uszkodzone liście dębu. W drugim roku, tj. 1969, rozłożyły się w zasadzie całkowicie liście dębu i resztki tkanek nerwowych pozostałych 3 gatunków. W tym okresie rozłożyło się 6% masy liści. W sumie rozkładowi uległo 90% całkowitej masy (ryc. 6).

Obserwując wygląd liści w trakcie ich rozkładu, stwierdzono dużą ilość drobnych korzeni na blaszkach liściowych dębu i graba. Poza tym na ich powierzchni rozwijały się grzyby z klasy podstawczaków i z grupy pleśni. Stwierdzono także obecność pojedynczych dżdżownic i innych bezkręgowców.

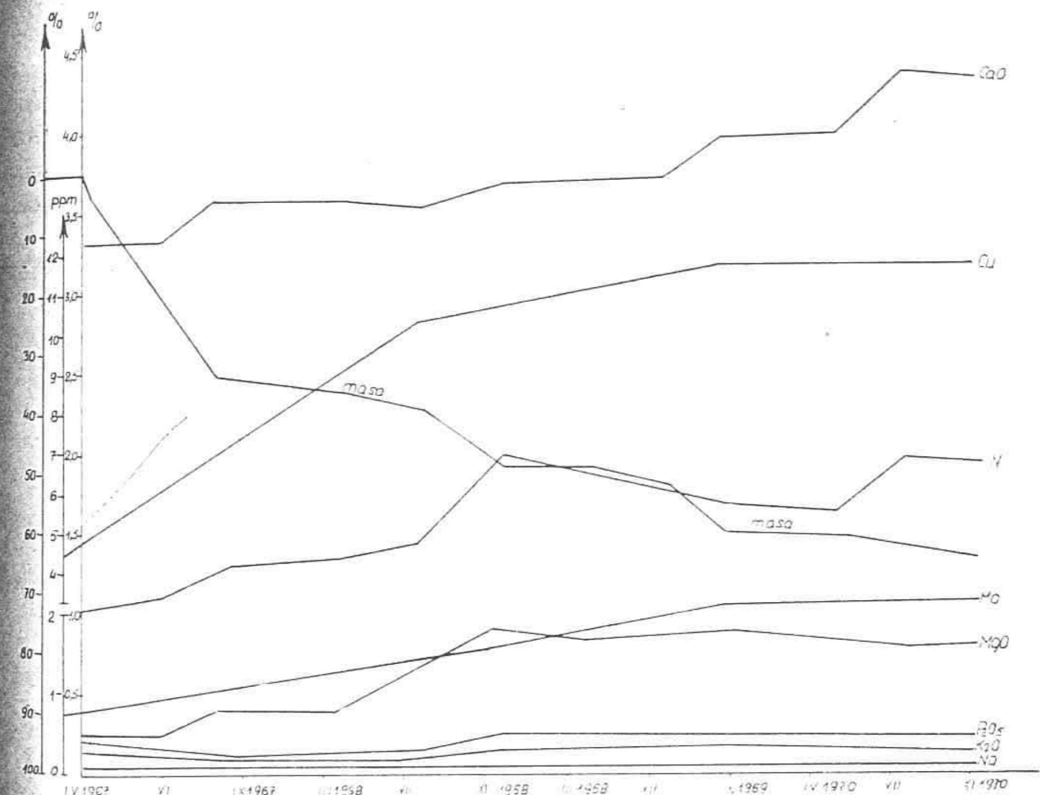
Na podstawie analizy mikrobiologicznej ściółki mieszanej można stwierdzić, że stanowi ona dobrą pożywkę dla drobnoustrojów. Liczba bakterii (tab. 2) wynosi 900 tys. w formie czynnej oraz 32 tys. w formie spoczynkowej, a zatem ich ilość jest większa niż u graba i dębu. Podobnie przedstawia się ilość wyodrębnionych gatunków grzybów. Wynosi ona 25 gatunków, czyli najwięcej ze wszystkich gatunków ściółki. Najliczniej gatunkowo reprezentowana jest grupa *Fungi Imperfecti* — 12 gatunków, w tym 8 gatunków posiada zdolność rozkładu błonnika,

pektyny i lignin. Następnie klasa *Phycomycetes* — 8 gatunków i *Ascomycetes* — 5 gatunków z tym, że w każdej z tych grup tylko 3 gatunki wykazują zdolność rozkładu wymienionych związków chemicznych.

Analizując składniki pokarmowe stwierdzono podobne prawidłowości jak u poszczególnych gatunków. I tak od jesieni 1967 r. do końca 1968 r. zawartość azotu wzrosła z 1,54 do 2,20%, wapnia z 2,78 do 3,50%, miedzi z 10,80 do 16,0 ppm i molibdenu z 0,60 do 1,60 ppm. Pozostałe pierwiastki, takie jak fosfor, magnez i sód, nie wykazywały istotnych wahań. Ilość potasu natomiast zmalała z 0,51 do 0,15%. W drugim roku badań ilość miedzi wzrosła do 23,46 ppm, molibdenu do 1,93 ppm, ilość sodu zaś zmalała do 0,08%.

Fagus silvatica — buk. Proces rozkładu śledzono w różnych środowiskach buczyny naturalnej.

Buczyna żyzna i uboga w Ojcowskim Parku Narodowym. Proces rozkładu liści buka w buczynie żyznej przebiegał szybciej niż w ubogiej. Badania wykazały, że w buczynie żyznej rozłożyło się w 1967 r. 33,1%, w 1968 r. — 16,1%, 1969 r. — 10,8% i w 1970 r. tylko 5% liści (ryc. 7). W buczynie ubogiej w 1967 r. rozkładowi



Ryc. 7. Rozkład liści *Fagus silvatica* w buczynie żyznej oraz zmiany w zawartości niektórych składników pokarmowych (Ojców)

Fig. 7. The decomposition of *Fagus silvatica* leaves, and changes in the content of certain nutritious components (Ojców)

uległo 22,0% i tylko 8% w 1968 r. Dalsze porównania między tymi dwoma środowiskami są niemożliwe, gdyż doświadczenia w tym drugim przypadku uległy zniszczeniu. Niemniej jednak już to porównanie wskazuje, że proces rozkładu w buczynie ubogiej przebiegał o wiele wolniej niż w buczynie żyznej.

Bliższe obserwacje badanego materiału wykazały, że liście w miarę upływu czasu żółkną, stają się cienkie, aż w końcu powstają otwory różnej wielkości w blaszce liściowej. W różnych okresach roku w badanym materiale znajdowano małe ślimaki i szereg innych bezkręgowców. Dżdżownic nie stwierdzono. Poza tym cały materiał w buczynie żyznej był bardzo silnie wyzyskiwany przez korzenie roślin runa leśnego. W buczynie ubogiej natomiast zamiast korzeni stwierdzono silny rozwój grzybów z klasy podstawczaków i z grupy pleśni.

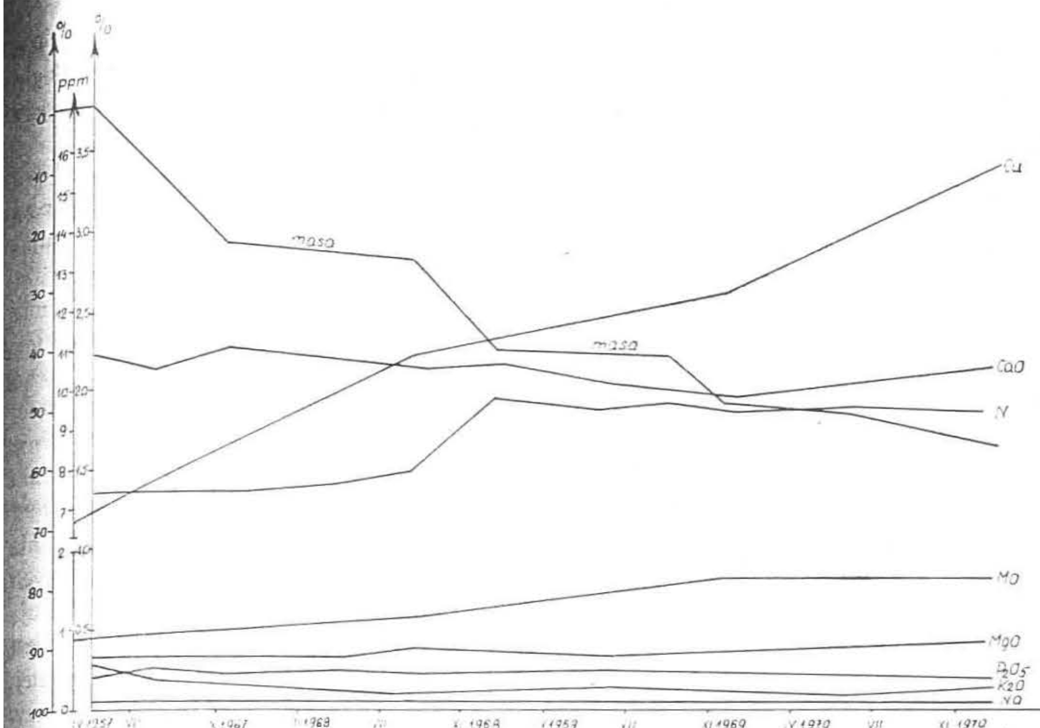
Badania mikrobiologiczne wykazały (tab. 2), że ilość bakterii formy czynnej wynosi 1,0 mln w ściółce buczyny żyznej, nieco mniej — 0,8 mln — w buczynie ubogiej. Z ważniejszych gatunków bakterii należy wymienić: *Bacillus megaterium* i *B. subtilis*.

Ilość grzybów w ściółce z buczyny ubogiej jest większa o kilka tysięcy niż w ściółce z buczyny żyznej (tab. 1 i 2), oznaczenia systematyczne wyodrębnionych grzybów wykazują natomiast, że tak w jednej, jak i w drugiej ściółce występują prawie te same gatunki. Liczba gatunków z poszczególnych klas grzybów jest następująca: *Phycomycetes* — 4 w ściółce z buczyny żyznej i 5 gatunków w ubogiej, *Ascomycetes* — analogicznie 3 i 4 oraz najliczniej reprezentowane *Fungi Imperfecti* 14 i 15 gatunków. Ilości gatunków zdolnych do rozkładu błonnika, pektyn i lignin są identyczne. I tak z klasy *Phycomycetes* po 3 gatunki, *Ascomycetes* po 2 oraz *Fungi Imperfecti* po 9 gatunków.

Analiza chemiczna badanych liści w buczynie żyznej w ciągu 4 lat (1967—1970) wykazała (ryc. 7), że procentowa zawartość azotu wzrosła z 1,06 do około 2,0%, wapnia z 3,34 do 4,40%, magnezu z 0,24 do około 0,90%. Ilość miedzi wzrastała do lipca 1969 r. z 4,60 do 11,90 ppm. Podobnie kształtuje się krzywa zawartości molibdenu, na podstawie której można stwierdzić, że ilość jego wzrosła z 0,76 do 2,11 ppm. Procentowa ilość fosforu, potasu i sodu natomiast przez cały czas nie ulegała większym zmianom i wynosiła dla fosforu około 0,22%, dla potasu 0,15% i 0,04% dla sodu.

Buczyna w rezerwacie Orkana (Gorce). Porównując wyniki otrzymane z badań przeprowadzonych na dwóch stanowiskach różniących się między sobą wysokością około 250 m stwierdzono, że rozkład tych samych liści przebiegał wolniej na stanowisku pod szczytem („góra" — 1023 m n.p.m.) niż u podnóża tej samej góry („dół" — 765 m n.p.m.). Różnica ta w ciągu 4 lat wynosiła około 15%. Rozkład ściółki w poszczególnych latach przedstawiał się następująco (ryc. 8 i 9): na stanowisku „dół" w 1967 r. rozłożyło się 23%, „góra" — tylko 13,5%, w 1968 r. — „dół" — 17%, a „góra" — 14%, w 1969 r. „dół" — 10,7%, „góra" — 3,7%, w 1970 r. „dół" — 5,1%, a „góra" — 9,8%.

Na podstawie okresowych obserwacji rozkładających się liści na obu stanowiskach stwierdzono obecność 1—2 sztuk dżdżownic w próbce, głównie w okresie wiosenno-letnim. Natomiast w 1968 r. na stanowisku „dół" zaczęły rozwijać się



Ryc. 8. Rozkład liści *Fagus silvatica* oraz zmiany w zawartości niektórych składników pokarmowych w buczynie ubogiej rezerwatu Orkana („dół")

Fig. 8. The decomposition of *Fagus silvatica* leaves, and changes in the content of certain nutritious components at the foot of the Orkan mountain reserve

(na ściółce) rośliny *Oxalis acetosella*. Korzonki tych roślin poprzeplatały liście buka. Poza tym na liściach stwierdzono 1,5 tysiąca bakterii formy czynnej, na stanowisku „góra" natomiast 0,9 tysiąca (tab. 1). Z gatunków bakteryjnych wymienić należy: *Bacillus subtilis*, *B. badius* oraz *Bacterium* sp.

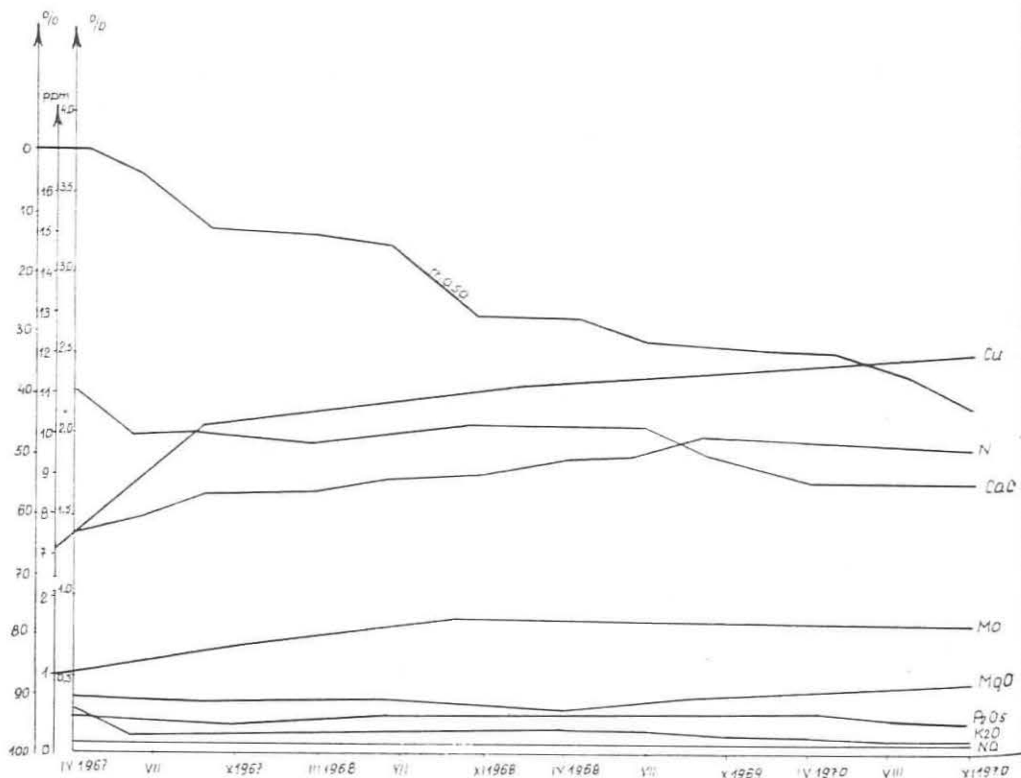
Podobne zróżnicowanie stwierdzono również w ilości grzybów (tab. 2) na badanych stanowiskach buczyny. I tak na stanowisku „dół" stwierdzono 30 tysięcy, a na stanowisku „góra" tylko 12 tysięcy. Natomiast liczba gatunków wyodrębnionych ze ściółki obu stanowisk (tab. 3) jest prawie taka sama („dół" — 13, „góra" — 14 gatunków).

To samo dotyczy gatunków grzybów zdolnych do rozkładu błonnika, pektyny i ligniny. Oznacza to, że te same gatunki prowadzą rozkład wymienionych związków w ściółce obu stanowisk. I tak z klasy *Phycomycetes* po 2, *Ascomycetes* po 3 oraz *Fungi Imperfecti* 3 na stanowisku „dół" i 4 gatunki na stanowisku „góra".

Stwierdzono, że liczba gatunków grzybów występujących w ściółce bukowej z Gorców jest o połowę mniejsza niż w ściółce ze stanowisk w Ojcowie. Ponadto zaobserwowano różnice w składzie gatunkowym i liczbie bakterii zdolnych do rozkładu ściółki. Tylko 4 gatunki — 3 z rodzaju *Trichoderma*, 1 z rodzaju *Chae-*

tomium (Fungi Imperfecti) występują tak w ściółce ze stanowisk Ojcowa, jak i Gorców. Prawdopodobnie wpływają na to surowe warunki klimatyczne i ubogie podłoże oraz związany z tym inny skład chemiczny ściółki pochodzącej z buczyny w Gorcach.

Dane analizy chemicznej materiału z obu stanowisk wykazują, że zmiany w zawartości składników pokarmowych są bardzo zbliżone do siebie. Wskazuje na to porównanie przebiegu krzywych (ryc. 8, 9) dla każdego składnika badanego ma-



Ryc. 9. Rozkład liści *Fagus silvatica* oraz zmiany w zawartości niektórych składników pokarmowych w buczynie ubogiej rezerwatu Orkana („góra")

Fig. 9. The decomposition of *Fagus silvatica* leaves, and changes in the content of certain nutritious components on the top of the Orkan mountain reserve

teriału. I tak procentowa zawartość azotu w ciągu badanego okresu wzrosła z 1,35% w 1967 r. do około 1,90% pod koniec 1970 r. Ilość fosforu przez cały czas nie ulegała w zasadzie żadnej zmianie i wynosiła około 0,11%. Ilość sodu jest minimalna (0,02%) i nie stwierdzono zmian jego ilości w ciągu badanego okresu.

W badanej ściółce buka w rezerwacie Orkana nie obserwuje się wzrostu zawartości wapnia w przeciwieństwie do materiału doświadczalnego z Ojcowa. Ilość wapnia w masie ze stanowiska „dół" nie wykazuje większych wahań i leży w granicach od 1,95 do 2,22%. Podobnie jest w materiale badawczym ze stanowiska

„góra", z tą tylko różnicą, że w 1970 r. ilość tego pierwiastka ma tendencję spadkową — wynosi około 1,70%. Ilość zaś magnezu (choć niewiele) systematycznie wzrastała z 0,30 w 1967 r. do około 0,40% w 1970 r. Ilość miedzi wzrosła z 6,80 do 15,48 ppm na stanowisku „dół" i do 11,90 ppm na stanowisku „góra", a molibdenu z 0,93 do około 1,60 ppm w materiale z obu stanowisk.

4. Wpływ badanej ściółki na niektóre właściwości gleby

Po przeprowadzeniu doświadczeń nad rozkładem ściółki na powierzchni badawczej w Ispinie, zebrano powstałą próchnicę, która zatrzymała się na gazie nylonowej umieszczonej między ściółką a glebą. Niewielka jej ilość nie wystarczyła do wykonania analiz wszystkich składników, jak w liściach badanych gatunków drzew. Poza tym pewna ilość próchnicy na pewno została wypłukana przez wodę opadową.

Próchnica powstała z rozkładu liści olchy odznacza się jednorodną strukturą w postaci okrągłych kuleczek koloru czarnego. Zawiera ona: 2,27% N, 0,27% P_2O_5, 0,19% K_2O, 0,22% Na, 2,92% CaO i 1,73% MgO. Próchnica pochodząca z rozkładu liści jesionu nie ma określonej struktury — ma charakter mazi, a nieliczne kuleczki bardzo łatwo ulegają rozkruszeniu. Kolor jej jest również czarny. Analizy chemicznej nie wykonano, ponieważ cała ilość próchnicy przechodziła przez gazę nylonową do gleby. Struktura próchnicy z liści graba jest w 50% luźna i w 50% gruzełkowata. Gruzełki te również nie są trwałe i łatwo ulegają rozbiciu. Kolor szary. Zawartość oznaczonych składników przedstawia się następująco: 1,40% N, 0,27% P_2O_5, 0,25% K_2O, 0,23% Na, 3,05% CaO i 0,60% MgO. Próchnica wytworzona z liści lipy ma taką samą strukturę jak próchnica z liści graba, koloru jasnobrązowego i zawiera: 2,0% N, 0,37% P_2O_5, 0,17% K_2O, 0,23% Na, 3,75% CaO oraz 1,20% MgO.

Próchnicę pochodzącą z rozkładu liści dębu charakteryzuje struktura orzechowato-kanciasta, dość zbita, o kolorze ciemnobrązowym. Procentowa zawartość składników pokarmowych przedstawia się następująco: 1,51% N, 0,25% P_2O_5, 0,22% K_2O i Na, 3,06% CaO i 1,25% MgO. Z kombinacji liści mieszanych wytworzyła się próchnica o strukturze trudnej do określenia, dość sypka, koloru brązowego. Zawiera ona: 1,81% N, 0,42% P_2O_5, 0,19% K_2O, 0,23% Na, 3,42% CaO oraz 1,80% MgO.

Na podstawie ścisłych obserwacji i otrzymanych wyników analiz chemicznych stwierdzić można, że kolor gleby pod liśćmi badanych gatunków jest podobny do koloru wytworzonej próchnicy charakterystycznej dla danego gatunku drzewa. Oczywiście barwa ta uzależniona jest od garbników zawartych w liściach. Poza tym badana próchnica jest zasobniejsza w magnez i wapń w stosunku do ich zawartości w liściach wziętych do doświadczenia i o wiele uboższa w potas. Ilość sodu jest zbliżona do jego zawartości w liściach. Podobnie przedstawia się ilość azotu ogólnego, tzn. nie ma większych różnic między jego zawartością w liściach i w próchnicy. Ilość fosforu ogólnego w próchnicy i liściach olchy jest zbliżona,

próchnica wytworzona z liści lipy, graba i dębu zaś zawiera mniej fosforu (oko 0,30%) niż zawierały liście tych gatunków przed rozkładem. Należy jednak pod kreślić, że zawartość badanych składników jest również zależna od opadów atmo sferycznych, które wypłukują je z wytworzonej próchnicy.

Następnym efektem uzyskanym z przeprowadzonych doświadczeń są zmiany jakie zaszły w glebie pod wpływem rozkładającej się ściółki. Wyniki otrzyman z analiz chemicznych poszczególnych gleb pod ściółką porównywano z wynikam analiz gleby, która pokryta była trocinami.

Odczyn gleby w H_2O pod ściółką graba wynosi 5,0 (tab. 4), pod trocinami 5, pod ściółką lipy 5,3, dębu 5,1, olchy 4,9, a pod ściółką jesionu wzrósł do 6, Odczyn w 1n KCl kształtuje się podobnie jak w wodzie. Kwasowość hydrolityczn gleby jest wyższa pod ściółką niż pod trocinami (7,65 me) i wynosi: dla graba 8,1 olchy 9,22 i dębu 8,17 me/100 g gleby. Natomiast dla lipy jest niższa i wynosi 6,6 a najniższa pod ściółką jesionu tj. 3,76 me/100 g gleby.

Suma zasad, a zatem i stopień nasycenia zasadami „V" badanych gleb, przed stawia się następująco: dla gleby pod trocinami wynosi 7,5, dla graba 8,0, lipy 9, olchy 9,4 i dla jesionu 13,4, pod ściółką dębu natomiast była nieco niższa i wynosi 6,8 me/100 g gleby. Stopień nasycenia zasadami „V" gleby pod trocinami ora liśćmi graba i olchy był taki sam i wynosił około 50%, a w glebie pod ściółką dęb był o 5% niższy. Wyższym stopniem nasycenia odznacza się gleba pod ściółk lipy — 59,9 oraz jesionu 78,2%.

Wzrost procentowej zawartości materii organicznej zanotowano w glebie po ściółką graba — 2,68%, lipy — 2,80%, jesionu — 3,21%, olchy — 3,88%, w sto sunku do ilości w glebie pod trocinami, która wynosi 2,34%. W glebie pod ściółk dębu ilość materii organicznej jest taka sama, jak w glebie pod trocinami, tj. 2,34% Różnice w zawartości azotu ogólnego w badanych glebach wahają się w granica od 0,01 do 0,1% w stosunku do jego ilości w glebie pod trocinami, która zawier 0,18% N. I tak gleba pod ściółką graba zawiera 0,26%, lipy 0,23%, jesionu 0,25% olchy 0,28% i dębu 0,19% N.

Największy wpływ wywarła ściółka wszystkich gatunków na zawartość w gleb dwóch makroskładników, tj. fosforu i potasu przyswajalnego. Analiza chemiczn wykazała, że gleba pod trocinami zawiera 2,0 mg P_2O_5/100 g gleby. W glebie po ściółką jesionu zanotowano 5,2, olchy i lipy 6,2, a pod liśćmi graba i dębu a 8,8 mg P_2O_5/100 g gleby. W glebie pod trocinami zanotowano 15,6 mg K_2O, ilo zaś tego składnika jest większa w glebie pod ściółką dębu 20,6, graba 27,3, lipy 37, olchy 42,1, a najwyższa pod ściółką jesionu, bo aż 51,1 mg K_2O/100 g gleby.

W badanych glebach oznaczono również zawartość przyswajalną dwóch mikro elementów niezbędnych dla roślin, tj. miedzi i molibdenu. Analiza wykazała jedna że różnice pomiędzy ich zawartością w glebie pod trocinami i pod ściółką bada nych gatunków są minimalne. I tak gleba pod trocinami zawiera 4,06 ppm Cu a gleby pod badanymi gatunkami ściółki zawierają od 3,92 do 4,14 ppm Cu Różnice zatem są nieistotne. Podobnie kształtuje się ilość molibdenu przyswaja nego. Gleba pod trocinami wykazuje 0,20 ppm Mo, a zawartość tego mikroelement w glebach pod ściółką waha się w granicach od 0,20 do 0,23 ppm, to znaczy,

nie stwierdzono żadnego wpływu ściółki na wzrost jego ilości przyswajalnej w glebie. Przeprowadzone doświadczenia nie byłyby pełne, gdyby ograniczono je tylko do stwierdzenia zmian natury chemicznej, jakie wywołuje rozkładająca się ściółka w glebie. Dlatego badane gleby poddane zostały analizie mikrobiologicznej, wyniki której umieszczono w tab. 5.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że zmiany, jakie zaszły w glebie pod badanymi gatunkami ściółki (w Ispinie) w porównaniu ze stanem gleby pod trocinami, są wyraźne.

Tak więc ilość form czynnych bakterii w glebie pod trocinami wynosiła 20650, pod olchą i grabem stwierdzono 1,5 raza, a pod lipą 2,5 raza więcej. Pod jesionem ilość tych form wzrosła 5-krotnie, a pod dębem 6-krotnie. Ilość form spoczynkowych również wzrosła, lecz w nieznacznym stopniu.

Duże zmiany obserwuje się w zawartości amonifikatorów. W glebie pod trocinami stwierdzono 4400, a w glebie pod badanymi gatunkami ściółki ilość ich wzrosła odpowiednio: pod grabem 4-krotnie, pod dębem 5-krotnie, pod lipą i olchą 8- i 9,5-krotnie, a najwięcej pod jesionem, bo aż 42-krotnie.

Ciekawie przedstawia się ilość promieniowców. Gleba pod trocinami nie zawierała ich w ogóle, w glebie natomiast pod różnymi gatunkami ściółki stwierdzono od 1,5 do 22,5 tysiąca. W zawartości grzybów we wszystkich badanych glebach istotnych zmian nie zanotowano. Ilość ich wynosi około 3,5 tysiąca.

Analiza mikrobiologiczna asymilatorów wolnego azotu wykazała, że *Azotobacter* we wszystkich glebach doświadczalnych nie występuje w ogóle, *Clostridium* zaś stwierdzono 10-krotnie więcej w badanych glebach niż w glebie pod trocinami. Procesy nitryfikacji i denitryfikacji zachodziły we wszystkich glebach z wyjątkiem gleby pod trocinami, z tą tylko różnicą, że denitryfikacja przeważała nad nitryfikacją w glebie pod olchą, jesionem i dębem.

Drobnoustrojów rozkładających fosfor nieorganiczny nie stwierdzono. Proces rozkładu błonnika intensywniej zachodził w glebie pod trocinami, ściółką jesionu i lipy.

Badania mikrobiologiczne nad stanem gleby pod i bez ściółki bukowej w Ojcowie i rezerwacie Orkana wykazały, że ogólna ilość bakterii (tab. 5) formy czynnej jest nieco większa pod ściółką. Ilość bakterii formy spoczynkowej jest również większa pod ściółką w Ojcowie i w glebie nie pokrytej ściółką w rezerwacie Orkana.

Zawartość amonifikatorów w glebie pod ściółką w Ojcowie jest 2,5 raza większa niż w glebie nie pokrytej ściółką. Odwrotnie przedstawia się ich zawartość w glebie w rezerwacie Orkana. Gleba nie pokryta ściółką wykazała 4,5 raza więcej amonifikatorów niż pokryta ściółką. Poza tym gleba pozbawiona ściółki (Ojców) zawiera prawie 3-krotnie więcej promieniowców niż gleba pokryta ściółką.

Z pozostałych badanych czynników mikrobiologicznych na uwagę zasługuje fakt, że w glebach tak w Ojcowie, jak i w rezerwacie Orkana nie stwierdzono występowania *Azotobacter*, a w glebach z rezerwatu Orkana dodatkowo nitryfikatorów. Natomiast w obu przypadkach stwierdzono intensywniejszy proces denitryfikacji w glebie pod ściółką w stosunku do gleby nie pokrytej ściółką.

W podsumowaniu stwierdzić można, że badania mikrobiologiczne przeprowa-

dzone równocześnie z badaniami chemicznymi gleby pozwoliły bardziej precyzyjnie określić zmiany, jakie zachodziły w glebie pod różnymi gatunkami ściółki liściastej. Zmiany wywołane aktywnością mikrobiologiczną gleby uzależnione są od gatunku ściółki pokrywającej glebę i warunków klimatycznych panujących w danym siedlisku.

5. Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników z badań mikrobiologicznych i chemicznych stwierdzono, że:

1. Liście olchy i jesionu rozkładają się bardzo szybko, bo już po upływie około 9 miesięcy. Rozkład przeprowadzają bezkręgowce, bakterie i grzyby. W trakcie rozkładu biomasy następuje wzrost stężenia N, Cu, Mo i MgO. Ściółkę olchy i jesionu można na tej podstawie zaliczyć do jednej grupy.

2. Rozkład liści lipy przebiega jak liści graba. Jednak w ściółce lipy ilość drobnoustrojów jest o wiele większa niż w ściółce graba. Poza tym w rozkładającej się ściółce lipy znaleziono więcej dżdżownic. Tak wzrost, jak i spadek procentowej zawartości badanych składników pokarmowych w rozkładającej się ściółce lipy i graba jest podobny.

3. Liście dębu w pierwszym roku badań uległy rozkładowi w 73%, w następnych dwóch latach rozłożyło się 10%. Obserwowano wzrost procentowej zawartości azotu, wapnia, miedzi i molibdenu. Stwierdzono również wysoką aktywność mikrobiologiczną.

4. Rozkład ściółki mieszanej przebiegał bardzo intensywnie od jesieni 1967 r. do końca 1968 r. W tym okresie uległo rozkładowi 84% masy. Zmiany w zawartości badanych składników przebiegały podobnie jak u poszczególnych gatunków ściółki.

5. Proces rozkładu ściółki bukowej przebiegał najszybciej na stanowisku buczyny żyznej w Ojcowie (w ciągu 4 lat rozłożyło się 63%), pośrednie miejsce zajmuje stanowisko u podnóża góry („dół") — 55,8%, a ostatnie (41% rozłożonej masy) blisko szczytu góry („góra") w rezerwacie Orkana. Na tak niski procent rozkładu w rezerwacie Orkana („góra") wpłynęły surowe warunki klimatyczne i bardzo ubogie podłoże glebowe.

6. Wyniki badań mikrobiologicznych omawianych gatunków ściółki liściastej potwierdzają pogląd o aktywnym udziale mikroflory w procesie rozkładu liści różnych gatunków drzew. Ilość amonifikatorów formy czynnej wykazuje związek z procentową zawartością azotu w ściółce. Analogicznie przedstawia się liczba grzybów. Należy jednak zaznaczyć, że ilość drobnoustrojów z danej grupy fizjologicznej zależy od stadium rozkładu ściółki, jeżeli oczywiście pozostałe warunki wpływające na liczbę drobnoustrojów są jednakowe dla wszystkich gatunków ściółki.

7. Oznaczenia systematyczne wyodrębnionych grzybów w badanych gatunkach ściółki liściastej wykazały, że najwięcej gatunków występuje w ściółce z liści mie-

…anych (25), następnie buka ze stanowisk w Ojcowie (24), lipy z Ispiny (23), olchy (19) oraz graba i dębu (po 17). W ściółce ze stanowisk buka w Gorcach stwierdzono — 14, a najmniej — 11 gatunków w ściółce jesionu z Ispiny.

8. Spośród 24 gatunków wyodrębnionych ze ściółki bukowej z Ojcowa tylko 11 gatunków występuje w ściółce bukowej na stanowisku w Gorcach. Niewątpliwie przyczyną tego jest między innymi surowy klimat i ubogie podłoże glebowe Gorców.

9. Zdolność rozkładu błonnika, pektyny i ligniny przez badane gatunki grzybów przedstawia się następująco: a) *Ascomycetes* 5 z 7 wyodrębnionych gatunków, b) *Phycomycetes* 5 z 13 wyodrębnionych gatunków, c) *Fungi Imperfecti* 12 z 20 wyodrębnionych gatunków.

10. Analiza mikrobiologiczna gleby pod badanymi gatunkami ściółki wykazała różny stopień aktywności mikrobiologicznej gleby. Najwyższą aktywność w porównaniu z glebą pod trocinami zanotowano w glebie pod dębem i jesionem.

11. Na podstawie wyników analiz chemicznych i procentowego rozkładu biomasy wszystkich omawianych gatunków ustalono szybkość przejścia badanych składników pokarmowych ze ściółki do gleby. Kolejność ta przedstawia się następująco:

1. Olcha — K > Na > Ca > P > Mg > N > Cu > Mo
2. Jesion — K > Ca > Mg > Na > N > P > Cu > Mo
3. Grab — K > Na > P > Mg > Ca > Cu > N > Mo
4. Lipa — K > Na > P > Mg > Ca > N > Cu > Mo
5. Dąb — K > Na > P > Mg > N > Ca > Cu > Mo
6. Mieszane — K > Na > P > Mg > Ca > N > Cu > Mo
7. Buk (Ojców) — K > P > Ca > N > Cu > Na > Mg > Mo
8. Buk (Orkan) — K > Na > Ca > P > N > Mg > Mo > Cu

12. Ścisłe obserwacje pozwoliły stwierdzić, że charakterystyczne zabarwienie próchnicy wytworzonej ze ściółki danego gatunku wpływa na kolor gleby.

13. Odczyn gleby pod wpływem rozkładającej się ściółki (w stosunku do odczynu gleby pod trocinami — pH 5,2) uległ zmianie. Najwyższy wzrost pH (H_2O) gleby stwierdzono pod ściółką jesionu — 6,1. Podobny wzrost stwierdzono w procentowym stopniu nasycenia zasadami gleby, ale tylko w przypadku lipy i jesionu.

14. Stwierdzono również wzrost zawartości materii organicznej, fosforu i potasu przyswajalnego w glebie pod różnymi gatunkami liści w stosunku do gleby pod trocinami.

15. Badania chemiczne w ścisłym powiązaniu z mikrobiologicznymi nad rozkładem ściółki i jej wpływem na glebę dają o wiele pełniejszy obraz przebiegu procesu przemiany materii organicznej, jaką stanowi ściółka, gdyż przebieg rozkładu ściółki w środowisku leśnym stanowi jeden z podstawowych czynników w bilansie składników pokarmowych w ekosystemie leśnym. Zatrzymanie więc ściółki, szczególnie w górach, jest bardzo ważnym elementem wpływającym na wzbogacenie gleby w składniki pokarmowe.

Zakład Ochrony Przyrody Polskiej Akademii Nauk w Krakowie

LITERATURA

Ainsworth G. C., Sussman A. S. 1965, 1966, 1968. The Fungi. An Advanced Treatise, 1, 2, 3. Ne York, Acad. Press, ss. XVI, 748, XVI, 805, XX, 738.
Attiwill P. M. 1968. The lost of elements from decomposing litter. Ecology 49 (1): 142—145.
Bocock K. L. 1964. Changes in the amounts of dry matter, nitrogen, carbon and energy in decomposi woodland leaf litter in relation to the activities of the soil fauna. J. Ecol. 52: 273—284.
Domsch K. H., Gams W. 1970. Pilze aus Agrarböden. Stuttgart, G. Fischer Verl., ss. XII, 222.
Gorlach E. 1964. O pewnym uproszczeniu metody Grigga oznaczania przyswajalnego Mo w gleb Rocz. gleb. 14 (1): 15—25.
Gurmaza W. A. 1966. Rozloženie lesnoj podstilki pod nasaždenijami različnoj produktivnosti. Les. Ž. 23—25.
Hering F. T. 1969. Fungal decomposition of oak leaf litter. Trans. Brit. Myc. Soc. 50 (2): 267—27
Jaro Z. 1963. A'lomb bomlasa kulonbozo allomanyok alatt. Erdés. Kutatás. 1—2: 95—106.
Karkanis M. 1967. Decomposition rate of dead plants and meadow hay and the influence of mineralizati of this material on the soil. W: Guide Nature Conservation Research Centre Polish Academy Sciences. Kraków, Wyd. Zakł. Ochr. Przyr., s. 43—51.
Lityński T. 1967. Żyzność gleby i nawożenie. Cz. 1. Warszawa—Kraków, PWN, ss. 380.
Liwski S. i in. 1966. Metody oznaczania dostępnych mikroelementów w glebach. Warszawa, PTG, ss. 3
Norris J. R., Ribbons D. W. 1969—1972. Methods in Microbiology. 1, 4, 6—7. New York — Londo B. Acad. Press.
Rams B. msk. Dynamika niektórych pierwiastków (N, P, K, Mg) w wybranych roślinach runa i liścia drzew występujących na powierzchni badawczej w rezerwacie „Lipówka" (Ispina).
Steubing L. 1970. Soil Flora. New York, Ed. D. E. Reichle.
Šataev J. N. i in. 1966. Postuplenie v počvu zolnych elementov i azota s opadom drevesnych i travjanisty rastenii v osnovnych tipach lesa dubravy. W: Les na Vorskle. 12.
Thomas W. A. 1968. Decomposition of loblolly pine needles with and without addition of dogwo leaves. Ecology 49 (3): 568—571.
Van der Drift J. 1963. The disappearance of litter in mull and mor inconnection with weather conditio and the activity of the macrofauna. Soil organismus. Amsterdam.
Van der Drift J. 1964. The effects of animal activity in the litter layer. Experimental Pedology. Nottingham
Viro P. J. 1963. Factorial experiments on forest humus decomposition. Soil Sc. 95: 24—30.
Wachowska-Serwatka K. 1966. Sezonowe zmiany azotu i składników mineralnych w ściółce, w gleb i w roślinach lasu mieszanego rezerwatu Lubsza. Acta Univ. Wratisl. 48 Pr. bot. 7: 71—130.
Witkamp M., van der Drift J. 1961. Breakdown of forest litter in relation to environmental facto Plant a. Soil 15 (4): 295—314.
Wittich W. 1939. Untersuchungen über den Verlauf der Streuzersetzung auf einem Boden mit Mullzustan Forstarchiv.
Wittich W. 1943. Untersuchungen über den Verlauf der Streuzersetzung auf einem Boden mit Mullzustan Forstarchiv.
Woodwell G. M., Marples T. G. 1968. The influence of chronic gamma irradiation on productio and decay of litter and humus in an oak-pine forest. Ecology 49 (3): 456—465.

SUMMARY

The investigations were carried out in *Tilio-Carpinetum* on experimental site in Ispina, as well as in *Fagetum carpaticum* in the Ojców National Park and i the Orkan Reserve in the Gorce Mts. The following methods were used:

1. Leaves of alder, ash, linden, hornbeam, oak and beech trees were collecte at the time of shedding and then dried at room temperature.

2. Leaves of individual species were put in portions of 20 g into round metal frames of 201 cm^2 surface and 3 cm height. The bottom of such frames was covered with nylon gauze, whereas the top was covered with nylon netting of 1 mm eye diameter. Gauze and netting were then sewn together.

3. The metal frames containing beech leaves were placed at predetermined spots in the Ojców National Park and the Orkan Reserve (after removal of the stratum A_L) in a fertile beech stand (plot I) and in a poor beech stand (plot II). In Ispina, where the forest is deciduous *(Tilio-Carpinetum)*, the experiment was carried out using leaves of alder, ash, linden, hornbeam and oak trees, as well as mixed leaves, using 4 g of each species.

4. At appropriate times series of 4 frames with litter were collected, the litter carefully removed, visual changes recorded, rainworms and enchytraeidae counted, and the material then rinsed, first in fresh water, then in distilled water, dried at room temperature and weighed. After calculation of the mean from 4 frames and the percentage of loss, the material was ground and subjected to chemical analysis.

5. In addition to the above the following supplementary experiment was performed on the study site in Ispina. First the accumulation stratum A_1 was removed, then the surface of the freed stratum was dug up and evened out carefully. Put into suitable wooden frames of 1 m^2 surface were lots of 1 kg of leaves of the following species: alder, ash, linden, hornbeam, oak, and for comparison — sawdust. The sawdust had been rinsed, first in acidified distilled water, then in clean distilled water. Between the soil and the litter, nylon gauze was put, and the frames were covered with nylon netting. The frames, prepared in the above way, were then put onto the previously prepared soil (in autumn 1968). Samples of litter and soil were collected in August 1969 and 1970 and subjected to chemical and microbiological analysis.

The following results were obtained:

a) Leaves of alder and ash decompose very fast, i.e. after 9 months already. The decomposition is carried out by invertebrates, bacteria and fungi. The plotting of the curves of N, Cu, Mo, MgO (Figs. 1 and 2) shows, that during decomposition of the biomass there occurs also increase in the concentration of the nutritious components mentioned. For these reasons litter from alder and ash trees may be considered as belonging to one group.

b) The decomposition of linden leaves takes place similarly as that of hornbeam leaves. However, in the litter from linden trees the number of microorganisms is significantly greater than in that from hornbeam trees. Furthermore, in the decomposing litter from linden trees more rain-worms were found. When observing the plotting of the curves of the content of nutritious components investigated (Figs. 3 and 4) one may generally conclude, that decrease and increase of their percental content in the decomposing litter from linden and hornbeam trees is similar.

c) Oak leaves decomposed during the first year of the study (1968) in 73%, during the next two years the rate was 10%. Decomposition was carried out mainly by rain-worms, with participation of small roots of plants from the ground flora.

Also rather intensive microbiological activity was ascertained. Furthermore, observed was increase of the percental content of nitrogen, calcium, copper and molibdenum (Fig. 5).

d) The decomposition of mixed litter was very intensive between autumn 1967 and the end of the year 1968. During that period 84% of the material was decomposed. Changes in the content of the components investigated took place in a similar way as with litter from individual species (Fig. 6).

e) The decomposition process of beech litter was fastest in the plot of fertile beech in the Ojców National Park (63% was decomposed in 4 years); a central position was held by a plot at the foot of the mountain ("bottom") — 55·8%, the last (41% decomposed matter) was a plot near the summit of the mountain ("top") in the Orkan Reserve. Such low percentage of decomposition in the Orkan Reserve ("top") was due to severe climatic conditions and the very poor soil substratum.

f) The speed with which the nutritious components investigated pass from the litter into the soil was determined on hand of chemical analyses and the percental decomposition of biomass. The process took place in the following order:

1. alder — K > Na > Ca > P > Mg > N > Cu > Mo
2. ash — K > Ca > Mg > Na > N > P > Cu > Mo
3. hornbeam . — K > Na > P > Mg > Ca > Cu > N > Mo
4. linden — K > Na > P > Mg > Ca > N > Cu > Mo
5. oak — K > Na > P > Mg > N > Ca > Cu > Mo
6. mixed litter — K > Na > P > Mg > Ca > N > Cu > Mo
7. oak (Ojców N.P.) — K > P > Ca > N > Cu > Na > Mg > Mo
8. beech (Orkan R.) — K > Na > Ca > P > N > Mg > Mo > Cu

g) Detailed observation made it possible to ascertain that the characteristic staining of humus developed in the litter of a certain species has its effect on the colour of the soil. E.g., the soil beneath litter from alder trees is black, whereas under the litter from oak or linden trees the soil becomes brown.

h) The soil reaction changed (Tab. 2), influenced by the decomposition of litter (in relation to the reaction of soil covered by sawdust — pH 5·2). The highest increase of soil pH (H_2O) was found under the litter from ash trees, i.e. 6·1 pH. Similar increase was seen in the percental saturation of the soil with bases, but only what concerns litter from linden and ash trees.

i) Increase was also found in the percental content of organic matter in the soil. Beneath sawdust this was 2·34%, and 3·88% under the litter of alder trees (Tab. 2).

j) The litter enriched the soil to a large degree with phosphorus and available potassium. The amount of P_2O_5 increased from 2·0 mg (in the soil beneath sawdust) to 6·2 mg under litter from alder and linden trees, and to 8·8 mg P_2O_5/100 g soil under leaves from hornbeam and oak trees. The potassium content increased from 15·6 mg in the soil beneath sawdust to 42·1 mg under alder and 51·1 mg K_2O/100 g soil under leaves from ash trees.

k) Microbiological analysis of soil beneath the litter of tree species investigated showed various degree of microbiological soil activity. The highest activity, co

pared to soil from beneath sawdust, was observed in the soil covered by litter from oak and ash trees.

l) Chemical investigations closely connected with microbiological investigations of litter decomposition and its effect on the soil provide much more detailed data on the conversion process of such organic matter, as e.g. litter. The process of decomposition in the forest habitat is one of the basic factors of the balance of nutritious components in the forest ecosystem. Therefore, the retention of litter, especially in the mountains, is a very important feature influencing the enrichment of soil by nutritious components.

Nature Conservation Research Centre, the Polish Academy of Sciences, Lubicz 46, Kraków, Poland